

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DE PESQUERÍAS A UN MODELO PREDADOR-PRESA

Nancy DÁVILA CÁRDENES
Juan M. MARTÍN-GONZÁLEZ (*)

I. LA CURVA DE OFERTA EN PESQUERÍAS DE UNA ESPECIE

El propósito de esta sección es presentar un breve resumen de los principales resultados que se han publicado en la literatura económica sobre la gestión de pesquerías desde la perspectiva del análisis convencional de la oferta y la demanda.

Entre los trabajos que recogen este aspecto, destacan el publicado por Copes (1970), en el que se deducen las principales características de la curva de oferta de una pesquería en la que una única especie es considerada objeto de explotación comercial. El trabajo de Copes (1970) se desarrolla en el marco del análisis estático, considerando dos supuestos sobre el régimen de explotación del recurso; por un lado, en régimen de libre acceso y, por el otro, bajo el supuesto de una pesquería explotada por un solo dueño.

Como modelo biológico de dinámica de poblaciones, se supone que el crecimiento de la población, $F(x)$, es logístico: $F(x) = rx(1 - x/K)$, donde r es la tasa de crecimiento intrínseca de la población y K la capacidad de carga del medio. Por su parte, la tasa de cambio del *stock* cuando se ejerce la actividad pesquera viene dada, de acuerdo al modelo de Schaefer (1957), por

$$\frac{dx}{dt} = F(x) - h(t) = rx\left(1 - \frac{x}{K}\right) - qEx \quad [1]$$

donde q es el coeficiente de capturabilidad y E el esfuerzo pesquero. Es decir, se supone un modelo de explotación en el que la captura, h , es linealmente proporcional al esfuerzo pesquero y al *stock*.

Cuando hay libre acceso al recurso, éste es explotado en condiciones de competencia perfecta. La renta económica que genera la pesquería, representada por la diferencia entre los ingresos to-

tales, $IT = ph(t) = pqEx$, y los costes totales (bajo el supuesto de costes unitarios constantes y lineales con el esfuerzo), $CT = cE(t)$, viene dada por

$$BT = IT - CT = (pqx - c)E. \quad [2]$$

A largo plazo, el equilibrio de libre acceso se alcanza en aquel punto en el que la renta económica se disipa, lo que conduce, cuando $h = F(x^*)$, a

$$h = \frac{rc}{pq} \left(1 - \frac{c}{pqK}\right). \quad [3]$$

En esta función, la producción h es cero para valores de

$$p \leq \frac{c}{Kq},$$

luego crece hasta alcanzar la máxima producción sostenida en

$$p = \frac{2c}{qK},$$

para posteriormente tender asintóticamente a cero cuando $p \rightarrow +\infty$. Además, la curva muestra un efecto de histéresis como respuesta a la sobrepesca biológica que se produce cuando el esfuerzo ejercido supera al necesario para maximizar la producción sostenida.

La consecuencia de esta sobrepesca biológica es un aumento en los precios, asociado a la drástica reducción del *stock*, y la consecuente disminución en la producción. Resolviendo [3] para p :

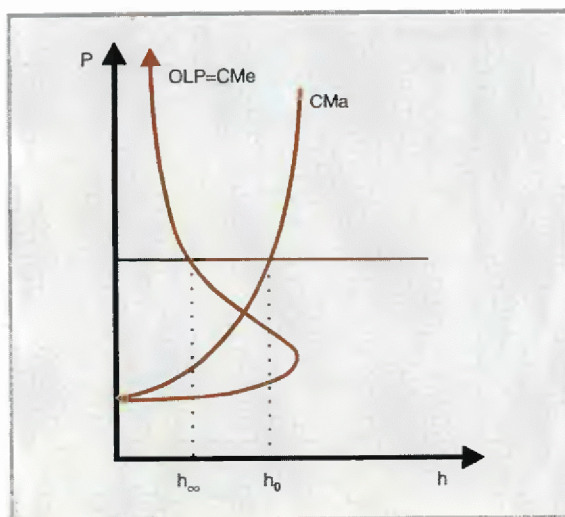
$$p = \frac{rc}{2qh} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4h}{Kr}}\right) = CMe(h), \quad [4]$$

se obtiene la condición de equilibrio a largo plazo en la pesquería de libre acceso en la que el precio iguala al coste medio. Por tanto, la gráfica de esta función (1) es la curva de oferta a largo plazo de la pesquería de libre acceso que se representa en el gráfico 1.

Cuando la función de demanda es perfectamente elástica, hay un único equilibrio, y se localiza donde la curva de oferta, o curva de costes medios, intersecta la curva de demanda (curva de ingresos medios). Este punto, h_m en el gráfico 1, es en el que la pesquería alcanza el *equilibrio bioeconómico*.

Este equilibrio lleva asociado un excesivo nivel de esfuerzo, y no es económicamente eficiente debido a que, como consecuencia del libre acceso, se están generando externalidades negativas por la presencia de excesivos barcos en el caladero.

GRÁFICO 1
EQUILIBRIO A LARGO PLAZO BAJO LIBRE
ACCESO, h_{∞} , Y EQUILIBRIO ECONÓMICAMENTE
EFICIENTE, h_0



Supóngase ahora que un único dueño controla la pesquería, y que el producto por ésta ofertado representa una pequeña parte del mercado mundial; en este caso, el precio del producto pesquero es fijado en el mercado internacional y el productor (único dueño) del recurso, por tanto, no tiene poder para intervenir en el mismo. El equilibrio económicamente eficiente, en el caso en que un solo productor opere en la pesquería, se obtiene para aquel nivel de capturas que maximiza

$$\text{Max } BT = ph - CT(E).$$

La condición de máximo beneficio que va a proporcionar el nivel de capturas económicamente eficiente se obtiene de igualar la función de ingreso marginal, que en el caso de funciones de demanda perfectamente elásticas coincide con p , con la función de coste marginal, de donde se obtiene, después de realizar las operaciones oportunas,

$$p = \frac{c}{qK} \left(1 - \frac{4h}{Kr} \right)^{-\frac{1}{2}} = CM_a(h). \quad [5]$$

Si se representa p como función de h , la función es creciente, convexa y tiene una asíntota vertical en

$$h = \frac{Kr}{4}$$

que corresponde con el nivel de capturas asociado a la máxima producción sostenible. Si anteriormente se identificó la curva de costes medios con la curva de oferta a largo plazo para el libre acceso, esta nueva curva se puede identificar como la *curva de oferta a largo plazo de la pesquería de único dueño*.

El nivel de capturas que representa la condición de eficiencia económica vendrá dado por h_0 , representado en el gráfico 1.

En el marco de este análisis estático, no se consideran algunos elementos fundamentales como son: el carácter temporal de las variables y la tasa social de descuento. Aún así, dicho análisis permite obtener una primera aproximación al problema.

Se estudia a continuación el problema de la oferta y la demanda en las pesquerías dentro de un contexto dinámico. La teoría del control óptimo, como herramienta de optimización dinámica, permitirá deducir las correspondientes curvas de oferta de la pesquería óptimamente gestionada.

Manteniendo el supuesto del análisis estático de una curva de demanda infinitamente elástica, lo que implica suponer unas condiciones en las que la pesquería oferta una fracción despreciable del total ofertado en el mercado, el objetivo será maximizar el valor actualizado neto de los ingresos procedentes de la pesca, es decir, maximizar el valor de la integral

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} [p - c(x)] h(t) dt, \quad [6]$$

sujeto a:

$$\dot{x} = F(x) - h(t) \quad [7]$$

$$x(0) = x_0 \quad x(t) \geq 0 \quad h(t) \geq 0,$$

donde p es la constante que representa tasa social de descuento; $F(x)$ es la función de crecimiento neto de la población que verifica las condiciones anteriormente supuestas y $h(t)$ es la captura que será la variable de control.

El problema se resuelve haciendo uso del principio del máximo de Pontryagin, obteniéndose

$$p = c(x^*) - \frac{c'(x^*) F(x^*)}{\rho - F'(x^*)} = S_p(x^*). \quad [8]$$

Por su parte, la producción sostenida correspondiente viene dada por:

$$h(t) = F(x^*). \quad [9]$$

La ecuación [8] define una función $S_p(x)$ que permite conocer cómo varía el nivel de *stock* ante va-

riaciones en el precio. Haciendo $x^* = F^{-1}[h(t)]$ en [8] y [9], se obtiene la curva de oferta de equilibrio de la pesquería óptimamente controlada, *curva de oferta descontada* (Clark, 1990).

La curva de oferta descontada $S_p(h)$, representada en el gráfico 2(d) puede deducirse gráficamente de acuerdo a la expresión [8]. A partir de $h = F(x)$, en el gráfico 2(a), cualquier nivel de *stock* lleva asociado un nivel de producción, h , y un correspondiente $S_p(x)$, gráfico 2(c). A través de la bisectriz del tercer cuadrante, gráfico 2(b), los correspondientes valores de $S_p(x)$ y de $F(x)$ se llevan al primer cuadrante, obteniéndose así $S_p(h)$ (2).

Dicha curva tiene las mismas características de la curva de oferta del libre acceso y, a menos que $\rho = 0$, también posee un tramo de pendiente negativa, que en este caso tiende a la asíntota vertical definida por la recta h_p , asociada a aquel valor de x que hace cero el denominador de [8], y que dependerá de la tasa de descuento elegida, $\rho = F'(x_p)$.

Cuando la tasa de descuento $\rho \rightarrow +\infty$, la curva de oferta dinámica coincide con la curva de oferta o curva de costes medios deducida por Copes (1970). Mientras que cuando $\rho = 0$, coincide con la curva de coste marginal de Copes (1970).

Así, la curva de oferta descontada de la pesquería óptimamente controlada con tasas de descuenten-

GRÁFICO 2
CURVA OFERTA DESCONTADA

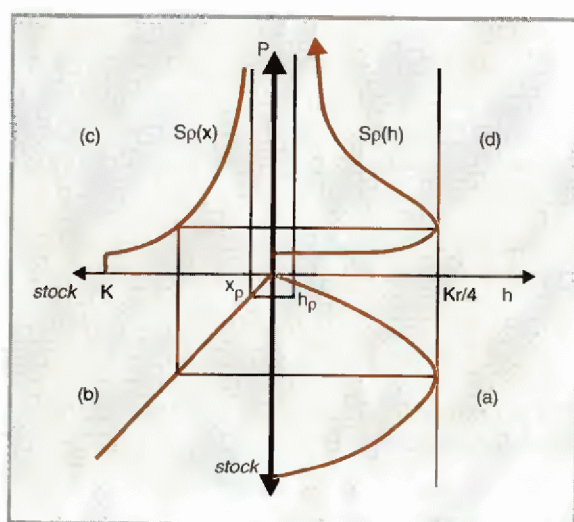
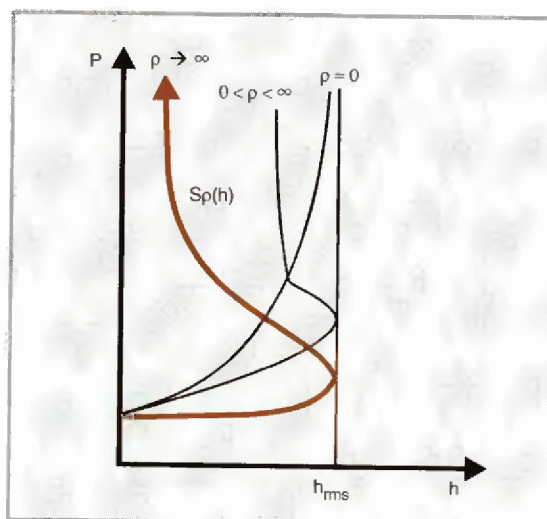


GRÁFICO 3
CURVA DE OFERTA DESCONTADA PARA
DIFERENTES ρ



to positivas también se inclina hacia atrás de forma similar a la curva de la oferta de la pesquería de libre acceso. Por supuesto, la mayor o menor inclinación de la curva dependerá de la tasa de descuento (véase gráfico 3).

Si la tasa de descuento está definida entre $0 < \rho < \infty$, mayores niveles de *output* están asociados a mayores costes hasta que la producción sostenida alcanza el máximo. Valores de esfuerzo superiores a los que generan la máxima producción sostenible dan lugar a la sobrepesca biológica, reduciéndose, en consecuencia, la producción, lo que ocurre cuando $h_p = F(x_p)$ por lo que $\rho \rightarrow +\infty$, donde $F'(x_p) = \rho$.

Así, la sobrepesca biológica no es únicamente el resultado de las ineficiencias que genera la propiedad común del recurso, como establece Copes (1970), sino que siempre ocurrirá para valores de $\rho > 0$, supuesto que el precio, p , sea lo suficientemente alto (Clark, 1973). El mínimo nivel de *output* depende de h_p , determinado por la interacción entre la tasa de crecimiento biológico y la tasa de descuento.

II. LA PESQUERÍA MULTIESPECIE: MODELO PREDADOR-PRESA

En el análisis desarrollado en el apartado precedente, se ha supuesto que sólo una especie era el objetivo de explotación en la pesquería. Sin embargo, las diferentes poblaciones de peces no viven de forma aislada en el mar, sino que entre ellas interactúan y se relacionan definiendo distintas unidades ecológicas que constituyen los ecosistemas. Dichos ecosistemas subsisten en un estado de equilibrio natural que puede ser alterado por cualquier tipo de perturbación. La pesca ejercida sobre cualquier población de un ecosistema puede considerarse un tipo de perturbación que se ejerce desde fuera del sistema y, como tal, va a afectar no sólo a la población sobre la que se ejerce, sino también al conjunto de los demás componentes de dicho ecosistema.

La estructura más simple de una comunidad será aquella formada por dos especies, entre las cuales se pueden establecer diferentes relaciones de interdependencia basadas, principalmente, en el comportamiento por la búsqueda del alimento; una de ellas es la predación.

En la predación, una población, la del predador, utiliza a otra, llamada presa, como alimento. Esta asociación es vista tradicionalmente como beneficiosa para el predador en detrimento de la presa. Existen diferentes modelos que describen este tipo de relación; en este caso, se ha elegido el que plantean May *et al.* (1979).

El objetivo ahora será analizar la gestión económica de una pesquería en la que se explotan dos especies (3).

Se supone que el estado del ecosistema puede ser descrito de forma adecuada mediante la especificación del tamaño (en términos de biomasa) de cada población. El modelo está representado por el sistema de ecuaciones diferenciales

$$\begin{aligned}\dot{x} &= r_1 x \left(1 - \frac{x}{K}\right) - \mu xy = g(x) - H(x, y) \\ \dot{y} &= r_2 y \left(1 - \frac{y}{\sigma x}\right) = F(x, y)\end{aligned}\quad [10]$$

donde $g(x)$ es la función de crecimiento de la especie x . Esta función es cóncava y positiva en el intervalo $[0, K]$; $H(x, y)$ es una función positiva que representa la interacción del predador con la presa y $F(x, y)$, la función de crecimiento de la especie y que incorpora su dependencia de la especie x , también cóncava en el intervalo $[0, \sigma x]$.

El problema de determinar la política económica óptima de explotación que maximice el valor actualizado neto de los ingresos futuros, obtenidos de la captura de cada especie, se puede formular como un problema de optimización dinámica, donde la funcional objetivo es maximizar el valor de la integral

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} [P_1 h_1(t) - C_1(x, h_1(t)) + P_2 h_2(t) - C_2(y, h_2(t))] dt \quad [11]$$

sujeto a las restricciones sobre la dinámica de los *stocks* cuando se introduce la tasa de captura $h_i(t)$

$$\begin{aligned}\dot{x} &= g(x) - H(x, y) - h_1(t) \\ \dot{y} &= F(x, y) - h_2(t).\end{aligned}\quad [12]$$

Además, se impondrán las siguientes restricciones sobre las variables: $x > 0$, $y > 0$, que se justifican con base en lo siguiente. Si x fuese cero, debido al tipo de interdependencia que se ha impuesto, no podría existir la especie y ; por su parte, si y fuera cero, se estaría en el caso de una pesquería de una sola especie.

Respecto a las condiciones de mercado en que tiene lugar la explotación, se supone que los precios, P_i ($i = 1, 2$), vienen dados para cada población, y que los costes de capturar los *stocks* de la presa y el predador a una tasa h_1 y h_2 son, respectivamente, $C_1(x, h_1)$ y $C_2(y, h_2)$; dichas funciones se consideran convexas en los *stocks* y las capturas (4).

Para resolver el problema, se hará uso de la teoría del control óptimo, donde las variables de estado quedan definidas por las ecuaciones de estado que describen la dinámica de cada población. Como variables de control, se eligen las tasas de captura de la presa y del predador.

Aplicando el principio del máximo de Pontryagin, se define el hamiltoniano considerando que ahora hay dos variables de estado y dos variables de control,

$$H = e^{-\rho t} [P_1 h_1 - C_1(x, h_1) + P_2 h_2 - C_2(y, h_2)] + \lambda_1(t) [g(x) - H(x, y) - h_1] + \lambda_2(t) [F(x, y) - h_2].$$

De acuerdo con el principio del máximo, la captura óptima debe maximizar el valor del hamiltoniano en cada instante de tiempo, sujeto a las condiciones subsidiarias

$$\dot{x} = \frac{\partial H}{\partial \lambda_1}, \quad \dot{y} = \frac{\partial H}{\partial \lambda_2}, \quad \dot{\lambda}_1 = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{y} \quad \dot{\lambda}_2 = -\frac{\partial H}{\partial y},$$

de donde se derivan las condiciones necesarias en x , y , h_1 , h_2 , λ_1 y λ_2 . Las soluciones interiores impli-

can que cada control óptimo debe maximizar el valor del hamiltoniano, i.e.

$$\frac{\partial H}{\partial h_i} = 0.$$

Las ecuaciones de estado y las ecuaciones coestado derivadas del principio del máximo permitirán obtener las ecuaciones diferenciales que definen la evolución temporal de la captura óptima de cada especie. Así se obtiene

$$\dot{h}_1(t) = \frac{C_{1x} + [\rho - (g'(x) - H_x)] (P_1 - C_{1h_1}) - (P_2 - C_{2h_2}) F_x + C_{1h_1} \dot{x}}{-C_{1h_1} h_1} \quad [13]$$

$$\dot{h}_2(t) = \frac{C_{2y} + (\rho - F_y) (P_2 - C_{2h_2}) + (P_1 - C_{1h_1}) H_y + C_{2h_2} \dot{y}}{-C_{2h_2} h_2} \quad [14]$$

Resulta obvio que las expresiones de $h_i(t)$ no se pueden obtener de forma analítica, y habrá que hacer uso de métodos de integración numérica que permitan conocer la evolución temporal de las capturas.

Se calcula la solución de equilibrio intertemporal haciendo $\dot{x} = 0 = \dot{y}$, y de igual forma para $\dot{h}_i = 0$, lo que da lugar a

$$\rho(P_1 - C_{1h_1}) = -C_{1x} + (P_2 - C_{2h_2}) F_x^* + (P_1 - C_{1h_1}) (g'(x^*) - H_x^*), \quad [15]$$

$$\rho(P_2 - C_{2h_2}) = -C_{2y} + (P_2 - C_{2h_2}) F_y^* + (P_1 - C_{1h_1}) H_y^*. \quad [16]$$

En estas ecuaciones, el término de la izquierda de la ecuación [15] refleja el beneficio resultante de invertir la renta procedente de la captura de una unidad adicional de la especie x . Por su parte, el lado derecho representa el beneficio que produce el dejar de pescar la última unidad de la especie x ; este término, además, se descompone en tres sumandos: el primero representa un ahorro futuro en los costes al disponer de un *stock* mayor, mientras el segundo y el tercer sumando equivalen al valor neto de la captura de las especies y y x , respectivamente, como resultado del cambio en el *stock* de la especie x . Luego esta ecuación expresa la equivalencia entre dos oportunidades de inversión, es decir, invertir la renta de pescar una unidad adicional del recurso frente a invertir en el recurso dejándolo de pescar.

Una interpretación análoga puede hacerse de [16]; es decir, esta ecuación refleja el coste de oportunidad de invertir en el recurso y frente a invertir la renta procedente de su captura en un bien alternativo. Despejando P_i ($i = 1, 2$), de las ecuaciones anteriores se obtienen las ecuaciones de

equilibrio oferta-demanda de la pesquería multiespecie

$$P_1 = C_{1h_1} - \frac{C_{1x} (\rho - F_y) + C_{2y} F_x}{[\rho - (g'(x^*) - H_x)] (\rho - F_y) + H_y F_x} \quad [17]$$

$$P_2 = C_{2h_2} - \frac{C_{2y} [\rho - (g'(x^*) - H_x)] - C_{1x} H_y}{[\rho - (g'(x^*) - H_x)] (\rho - F_y) + H_y F_x} \quad [18]$$

Considerando que en el equilibrio,

$$h_1^* = g(x^*) - H(x^*, y^*) \quad [19]$$

$$h_2^* = F(x^*, y^*), \quad [20]$$

se puede eliminar x^* e y^* de [17] y [18], y así obtener las *curvas de oferta descontada* para cada especie de la pesquería de dos especies controlada de forma óptima.

III. RESULTADOS

Cuando se aplicó el análisis de la oferta y la demanda al problema de la gestión de una pesquería en la que sólo una especie era el objetivo de la explotación, quedó de manifiesto que las curvas de oferta de la pesquería explotada bajo condiciones de libre acceso y la curva de oferta descontada, deducida esta última cuando se introducía el factor tiempo en el análisis, se caracterizaban por presentar una forma peculiar. Dichas curvas mostraban un tramo de pendiente negativa que tendía asintóticamente a infinito, decreciendo la producción como consecuencia de la sobreexplotación de la pesquería.

Este fenómeno se asoció, por un lado, a las características del recurso, que admite una máxima producción sostenible asociada a un determinado nivel de población, por debajo del cual los costes de la explotación aumentan para niveles de producción cada vez menores y, por otro, a las condiciones bajo las que tiene lugar la explotación.

Asimismo, en el modelo de una especie, aunque los equilibrios entre la oferta y la demanda varían dependiendo de la estructura de mercado en que tenga lugar la explotación, la curva de oferta descontada conserva siempre la misma forma, variando únicamente la pendiente del tramo decreciente en función de la tasa de descuento aplicada.

A continuación, se presentan los resultados que se obtienen del modelo teórico desarrollado para el caso de la pesquería de dos especies entre las que hay una relación de interdependencia del tipo predador-presa. Las curvas que se presentan son las

que se obtienen cuando, en el equilibrio, el precio de mercado de las dos especies es el mismo. Se consideran en la resolución dos valores de la tasa de descuento: uno extremadamente alto, $\rho = 0.8$, y otro de $\rho = 0.05$, con el fin de contrastar los resultados en los dos casos.

Hay que destacar que, en el nuevo problema formulado, los valores de equilibrio de la resolución del sistema [17]-[20] son vectores (x^*, y^*, h_1^*, h_2^*) y por tanto, para hacer posible su representación, se han representado gráficamente todos los valores de equilibrio de cada una de las variables frente al precio.

Cuando $\rho = 0.8$, la curva de oferta, que describe la evolución de las capturas con el precio, muestra un comportamiento idéntico para las dos poblaciones, como se aprecia en los gráficos 4(a) y 5(a). Es creciente para aumentos estacionarios en el precio de demanda hasta alcanzar un máximo, a partir del cual posteriores incrementos en el precio se traducen en menores niveles de captura como consecuencia de la sobrepesca biológica que sufren ambas poblaciones.

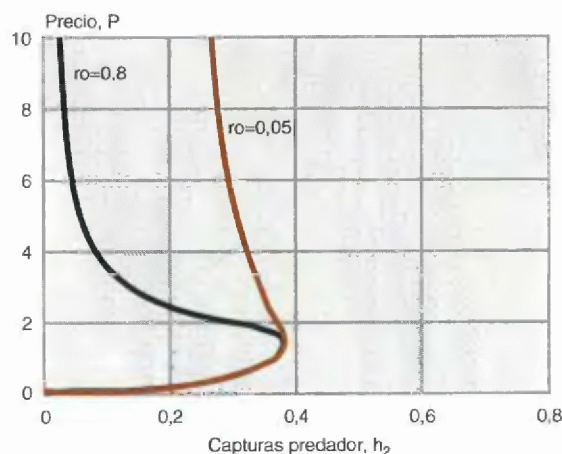
El predador muestra antes los efectos de la sobrepesca, debido a que su *stock* se ve reducido no sólo como consecuencia de la captura directamente ejercida sobre él, sino también por la pesca de la especie que constituye su alimento.

Por el contrario la presa, aunque es sometida a una alta tasa de captura, se ve favorecida por el decrecimiento del *stock* del predador. Esto da lugar a un aumento en los niveles de equilibrio de la población que retrasan los efectos de la sobrepesca. En el gráfico 5(b) queda de manifiesto cómo se reflejan, en los niveles de equilibrio de la población de la presa, los efectos de su interdependencia con el predador. Se observa que en el rango de precios en que es máxima la captura del predador crece el *stock* de la presa.

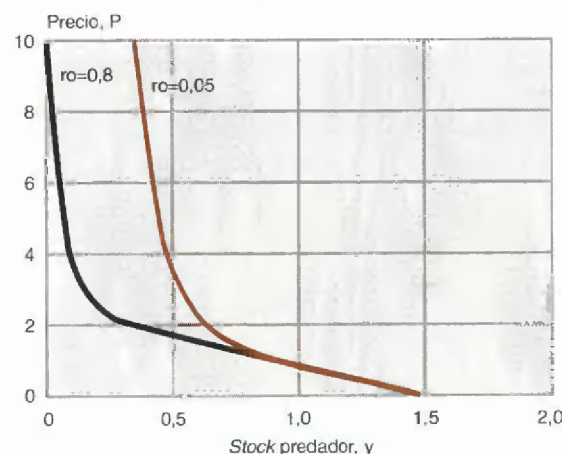
Este comportamiento en la presa está asociado a que esta población sufre dos efectos combinados de captura, el que se ejerce a través de la pesca y el que ejerce la población del predador cuando la ingiere como alimento. Por ello, cuando inicialmente la población del predador se mantiene en unos niveles altos y la captura de la presa es creciente, la población de equilibrio de esta última se ve reducida de forma progresiva; sin embargo, hay un momento en que este decrecimiento se «frena» para mantenerse en unos niveles prácticamente constantes dentro de un determinado rango de precios que, como se ha comentado con anterioridad, coincide con aquel intervalo de precios en el que es

GRÁFICO 4

a) Curva de oferta descontada para el predador



b) Evolución del *stock* del predador.
(Tasas de descuento $\rho = ro = 0.05$ y $\rho = ro = 0.8$)

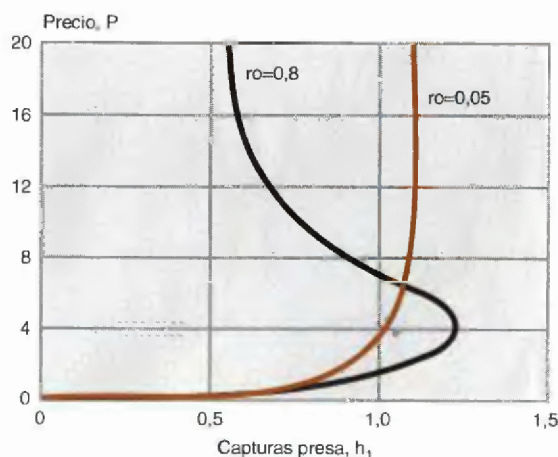


máximo el nivel de equilibrio de las capturas del predador. Este efecto de la acción del predador en la presa es más notable cuanto mayor es la tasa de descuento, gráfico 5(b).

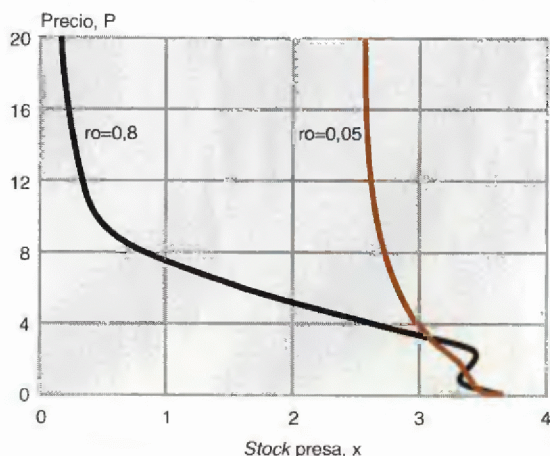
Si la tasa de descuento es $\rho = 0.05$, los equilibrios en la tasa de captura de la presa se estabilizan alrededor de un máximo —gráfico 5(a)—, tal como ocurría cuando la tasa de descuento era cero en la pesquería de una especie; es decir, en este caso, no tiene lugar la sobreexplotación del *stock* de la presa debido, por un lado, a la tasa de descuento aplicada, que propicia la conservación del *stock* y, por otro, a la reducción en el *stock* de predadores. La disminución en el nivel de predadores

GRÁFICO 5

a) Curva de oferta descontada para la presa



b) Evolución del stock de la presa.
(Tasas de descuento $\rho = r = 0,05$ y $\rho = r = 0,8$)



es consecuencia de la inicial tasa de captura ejercida en la presa y de la pesca directamente ejercida sobre él.

Como conclusión, a la vista de los gráficos, se tiene que cuando la tasa de descuento es alta, las curvas de oferta de las dos especies se vuelcan hacia atrás, al igual que ocurría en el caso de una especie; sin embargo, cuando la tasa de descuento es baja, sólo la curva de oferta del predador sufre este efecto, en tanto que los valores de equilibrio de la presa se estabilizan alrededor de un máximo.

Un análisis de estabilidad de las soluciones estacionarias del sistema muestra que la máxima estabilidad que puede obtenerse es la de puntos

de silla; es decir, los valores propios asociados a cada punto de equilibrio son complejos, lo que conduce a oscilaciones transitorias. Este hecho excluye la posibilidad de que la captura óptima a ejercer sobre cada población siga un comportamiento cíclico de carácter periódico.

NOTAS

(*) Agradecemos al profesor Dr. Ginés de Rus Mendoza los comentarios y sugerencias aportados para la realización de este trabajo, que constituye una parte de la tesis doctoral «Análisis económico de pesquerías mediante la teoría del control óptimo: una aplicación al modelo predador-presa».

(1) El origen de esta curva de oferta, con tramos de pendiente negativa, COPES (1970) lo asocia al resultado de un proceso a largo plazo más que a corto plazo, debido a la interacción de dos fenómenos peculiares de la industria pesquera: uno está relacionado con la naturaleza de propiedad común del recurso y el otro con el libre acceso.

(2) El proceso de obtención de esta gráfica lo describe CLARK (1990).

(3) Entre los trabajos que abordan diferentes aspectos de la explotación de una pesquería multispecie, se pueden citar los de HANNESSON (1983), RAGOZIN Y BROWN (1985), CLARK (1990), FEICHTINGER Y NOVAK (1992), CONRAD (1995).

(4) Estas hipótesis sobre las funciones de coste también son establecidas por LONG (1991) y FEICHTINGER Y NOVAK (1992).

BIBLIOGRAFÍA

- CLARK, C. W. (1973), «The economics of overexploitation», *Science*, 181, págs. 630-634.
- (1975), «Supply and demand relationships in fisheries management», *Control theory, numerical methods and computer systems*, Springer-Verlag, 107.
- (1990), *Mathematical bioeconomics: The optimal management of renewable resources*, New York, Wiley (2.^a ed.).
- CONRAD, J. M. (1995), «Bioeconomic models of the fishery», *The Handbook of Environmental Economics*.
- COPES, P. (1970), «The Backward-Bending supply curve of the fishing industry», *Scottish Journal of Political Economy*, 40, págs. 69-77.
- DÁVILA, N. (1996), «Análisis económico de pesquerías mediante la teoría del control óptimo: Una aplicación al modelo predador-presa», tesis doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- FEICHTINGER, G., y NOVAK, A. (1992), «A note in the optimal exploitation of migratory fish stocks», *Dynamics and Control*, 2, páginas 255-263.
- HANNESSON, R. (1983), «Optimal harvesting of ecologically interdependent fish species», *Journal of Environmental Economics and Management*, 10, págs. 329-345.
- LONG, N. V. (1991), «Optimal exploitation of migratory fish stocks: The multiple species case», *Essays on the economics of migratory fish stocks. Studies in contemporary economics*, págs. 55-68.
- MAY, R. M.; BEDDINGTON, J. R.; CLARK, C. W.; HOLT, S. J., y LAWS, R. M. (1979), «Management of multispecies fisheries», *Science*, 205, 4403, págs. 267-277.
- RAGOZIN, D. L., y BROWN, G. Jr. (1985), «Harvest policies and nonmarket valuation in a predator-prey system», *Journal of Environmental Economics and Management*, 12, págs. 155-168.
- SCHAEFER, M. B. (1957), «Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of the commercial marine fisheries», *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 14, 5, págs. 669-681.

Resumen

La mayor parte de la literatura económica que aborda el problema de la gestión de pesquerías ha dedicado especial atención a aquellas en las que una única especie es objeto de explotación comercial. Asimismo, el análisis económico aplicado a la explotación de los recursos pesqueros se ha dirigido en su mayor parte al estudio de las relaciones entre la producción, derivada de la explotación, y la cantidad de *inputs* empleados para obtenerla. Sin embargo, en la medida de nuestro conocimiento, el estudio de las relaciones entre el precio y la producción, en el contexto del análisis clásico de la oferta y la demanda ha sido objeto de estudio más limitado.

En este trabajo, tomando como referencia base los artículos de Copes (1970) y de Clark (1975, 1990), en los que se analiza la relación entre precio y producción con el fin de derivar las curvas de oferta características de la explotación de una pesquería de una sola especie, se considera el caso de una pesquería multiespecie en la que se explotan dos especies entre las que existe una relación de interdependencia del tipo predador-presa. El objetivo es determinar en qué medida se conserva la forma peculiar de las curvas de oferta de las pesquerías monoespecíficas, que se caracterizan por presentar tramos de pendiente negativa, así como estudiar la estabilidad de los equilibrios oferta-demanda que surgen en el modelo.

Palabras clave: modelo predador-presa, pesquerías multiespecie, pesquerías monoespecíficas, equilibrios oferta-demanda, control óptimo.

Abstract

Most of economic studies dealing with the management of fisheries have focused their attention in those in which a single species of an ecosystem is being caught. Likewise, the economic analysis in fisheries has been applied mainly to the output-input relationships. However, to our knowledge, the classical supply-demand analysis has been more limited.

In this paper, taking as a basic reference the previous jobs of Copes (1970) and Clark (1975, 1990), it is considered a multispecies fishery where two species are exploited. Between them a predator-prey interdependence exists. The aim is to derive, under specific assumptions, the supply curves for the fishery making use of the Optimal Control Theory and to show if the characteristic shape of supply curves in single fisheries is kept.

Key words: predator-prey models, multispecies fisheries, supply demand equilibrium, optimal control.

JEL classification: Q21, Q22.